

Perhitungan *Stage Mixer Settler* untuk Pemurnian Torium (Th) dari Pelarutan Monasit

Mixer Settler Stage Estimation for Thorium (Th) Purification from Monazite Leaching

Hafni Lissa Nuri*, Prayitno, Abdul Jami

Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir-BATAN,

Kawasan Puspiptek Gd.71, Serpong, Tangerang Selatan, Indonesia, 15310

E-mail: hafniln@batan.go.id

Naskah diterima: 6 September 2018, direvisi: 25 November 2018, disetujui: 30 November 2018

DOI: [10.17146/eksplorium.2018.39.2.4524](https://doi.org/10.17146/eksplorium.2018.39.2.4524)

ABSTRAK

Monasit (Ce, La, Nd, Th)₄PO₄ dengan kandungan torium (Th) antara 3-4% cukup signifikan untuk diproses menghasilkan Th. Pengolahan awal dilakukan dengan pelindian monasit menggunakan reagen basa karbonat (Na₂CO₃) untuk mengambil uraniumnya. Sisa *tailing* dilarutkan dengan asam sulfat untuk menghasilkan larutan Th(SO₄)₂ yang kemudian dimurnikan dari unsur-unsur pengotornya. Pengolahan dilakukan secara kontinyu menggunakan *mixer settler* dengan tahapan proses meliputi proses ekstraksi Th, *stripping* Th dan regenerasi pelarut organik. Ekstraksi Th menggunakan pelarut organik *Primene JM-T* (RNH₂) yang merupakan campuran dari 0,15M *Primene JM*; 5% *Tridecanol*; dan 95% Kerosin. Sementara itu, proses *stripping* Th menggunakan larutan 2M HCl. Untuk efisiensi maka regenerasi pelarut organik menggunakan 1% H₂SO₄. Untuk mendapatkan *recovery* dan kemurnian yang tinggi dari Th, penghitungan jumlah *stage mixer settler* diperlukan dengan menggunakan metode *McCabe Thiele*. Dari hasil perhitungan diperoleh jumlah *stage* dalam proses ekstraksi Th adalah 3, proses *stripping* Th adalah 3 dan regenerasi pelarut organik adalah 2. *Recovery* total Th sebesar 84,90% diperoleh dengan kemurnian produk mencapai 99,02%.

Kata kunci: *stage, mixer settler, pemurnian, monasit, torium*

ABSTRACT

Monazite (Ce, La, Nd, Th)PO₄ with thorium (Th) content between 3-4 % is significant enough to be processed to produce Th. The initial treatments conducted by using carbonate base reagents (Na₂CO₃) for monazite leaching to fetch the uranium. The remaining tailings were dissolved with sulfuric acid to produce Th(SO₄)₂ solution which is then purified from its impurities. The processing is carried out continuously using a mixer settler with the process steps include Th extraction, Th stripping, and organic solvents regeneration. Thorium extraction uses a primene JM-T (RNH₂) organic solvent which is a mixture of 0.15M Primene JM; 5% Tridecanol and 95% Kerosine. Meanwhile, the Th stripping process uses 2M HCl solution. For efficiency, regeneration of organic solvents uses 1% H₂SO₄. To obtain a high recovery and purity from Th, it is necessary to calculate the number of stage mixer settlers using the McCabe Thiele method. Based on the calculation, the number of stage for extraction process, Th stripping, and organic solvents regeneration are 3, 3, and 2 respectively. The total recovery of Th is obtained at 84.90 % where product purity reaches 99.02 %.

Keywords: *stage, mixer settler, refining, monazite, thorium*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan penghasil logam tanah jarang (LTJ) yang berasal dari monasit ((Ce, La, Nd, Th)PO₄), xenotim (YPO₄) dan

zirkon (Zr_{0.9}Hf_{0.05}REE_{0.05}SiO₄) sebagai produk samping dari penambangan timah plaser di Pulau Bangka, Belitung, Kampar, dan Kepulauan Riau walaupun produksinya

masih kecil. Di dalam kegiatan penambangan tersebut, monasit, xenotim dan zirkon yang merupakan sumber unsur LTJ tidak dipisahkan secara tetap, karena harga pasarnya tidak stabil dan jumlah produksinya kecil serta biaya pemisahannya masih terlalu mahal [1]. Torium (Th) di dalam mineral monasit yang saat ini telah diteliti dan diolah oleh Pusat Teknologi Bahan Galian Nuklir (PTBGN)-BATAN adalah monasit yang berasal dari produk samping pemisahan pasir timah oleh PT. Timah di Pulau Bangka [2–5]. Mineral monasit mengandung $\text{RE}_2\text{O}_3 = 60\%$, $\text{U} = 2000\text{--}3000$ ppm, $\text{Th} = 3\text{--}4\%$ dan fosfat = 24% dan komposisi monasit tersebut tidak beda jauh dengan monasit yang berasal dari Mesir [6]. Proses awal pengolahan monasit dengan sistem pengendapan partial akan menghasilkan RE_2O_3 dan sisa monasit. Monasit masih banyak mengandung uranium (U), torium (Th) dan logam tanah jarang (LTJ) atau *rare earth elements* (REE). Apabila semua unsur itu dapat diolah, maka Indonesia akan menjadi bangsa yang mandiri dalam menyediakan bahan baku U dan Th untuk pembuatan bahan bakar reaktor, serta LTJ untuk kebutuhan industri strategis lainnya.

Monasit mengandung Th antara $3\text{--}4\%$, cukup signifikan untuk menghasilkan produk Th. Pengolahan awal monasit adalah dengan melakukan proses pelindian uranium menggunakan reagen karbonat (Na_2CO_3) untuk mendapatkan endapan uranium. Selanjutnya, sisa monasit dilarutkan dengan asam sulfat untuk menghasilkan larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ yang masih bercampur dengan LTJ, U dan impuritas lainnya. Larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ tersebut digunakan sebagai umpan awal untuk pemurnian Th dari pengotornya, yaitu LTJ, U dan pengotor logam seperti Fe, Si, Ti, Al, Sn, Zr dan lain-lainnya. Proses pemurnian Th di dalam larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ dilakukan

melalui beberapa proses, diantaranya ekstraksi Th menggunakan pelarut organik bersifat selektif terhadap Th, *stripping* Th menggunakan HCl dan regenerasi pelarut organik menggunakan H_2SO_4 yang dapat didaur ulang sebagai pelarut ekstraksi Th.

Ekstraksi Th dari larutan monasit dengan menggunakan pelarut *tributylphosphate* (TBP) Kerosin ternyata kurang selektif karena masih banyak pengotor yang terikut [7]. Pemurnian Th di Mesir menggunakan pelarut *Primene JM-T* dapat mengambil Th (*recovery*) sebesar $95,3\%$ sedangkan *recovery* terhadap pengotor LTJ sangat rendah yaitu $0,32\%$ [8]. Bila dibandingkan dengan pelarut TBP Kerosin, *Primene JM-T* dapat mengambil Th lebih banyak dengan jumlah pengotor jauh lebih rendah.

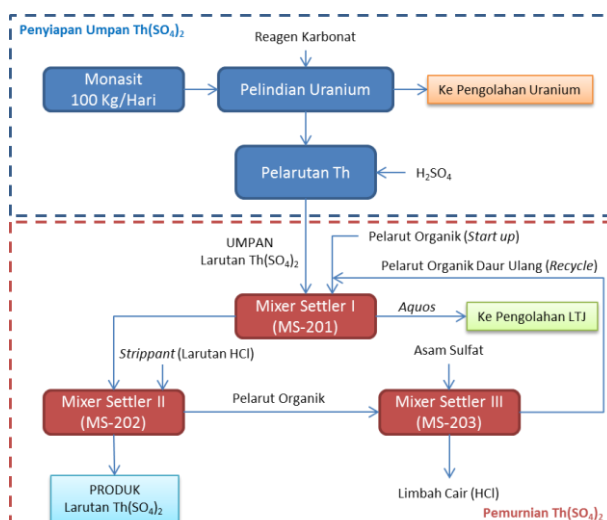
Proses ekstraksi memerlukan pemilihan pelarut organik yang tepat, yaitu memiliki selektifitas tinggi terhadap Th, seperti terlihat pada hasil penelitian menggunakan monasit di Mesir (Tabel 1). *Primene JM-T* (O) dipilih sebagai pelarut organik untuk Th karena mudah membentuk kompleks. *Primene JM-T* merupakan campuran dari $0,15\text{M}$ *Primene JM* dalam larutan 5% Tridecanol dan 95% Kerosin [8].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan jumlah optimum *stage* pada *mixer settler* sehingga diperoleh kemurnian produk akhir Th yang lebih tinggi. Alat yang digunakan untuk pemurnian Th dalam larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ (A) adalah *mixer settler*. Alat ini memerlukan jumlah *stage* tertentu untuk memperoleh hasil yang optimal. *Stage* adalah *mixer settler* yang terdiri dari satu *mixer* untuk mencampur larutan O dan A dengan pengaduk dan satu *settler* untuk mengendap larutan O dan A sehingga akan terjadi pemisahan O dan A (Gambar 1). Perhitungan jumlah stage dilakukan dengan metode *McCabe Thiele* [9, 10].

TEORI

Proses pengolahan monasit (Gambar 1) untuk menghasilkan larutan torium sulfat, $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ yang relatif murni melalui tahapan sebagai berikut [6, 8]:

- Proses penyiapan umpan dengan melakukan pelindian monasit menggunakan reagen karbonat sehingga uranium (U) larut di dalam karbonat dan menyisakan monasit.
- Sisa monasit tersebut dilarutkan dengan asam sulfat (H_2SO_4) untuk melarutkan Th ke dalam larutan sulfat sehingga diperoleh larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ yang diikuti dengan LTJ, U dan sejumlah pengotor. Komposisi komponen hasil pelarutan ini (Tabel 2) digunakan sebagai umpan untuk pemurnian larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$
- Pemurnian Th dalam larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ dari pengotor dilakukan dengan proses ekstraksi Th menggunakan pelarut organik (O), *stripping* Th menggunakan HCl (A) dan dilanjutkan dengan regenerasi pelarut organik untuk didaur ulang (*recycle*) sehingga dapat digunakan kembali. Proses ini akan meningkatkan efisiensi pelarut organik yang harganya cukup mahal.



Gambar 1. Bagan alir penyiapan umpan dan pemurnian.

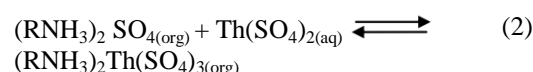
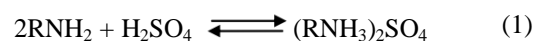
Pada proses pemurnian Th ada beberapa pelarut yang bisa digunakan, antara lain: *tributylphosphate* (TBP), *Cyanex-302* [bis(2,4,4-trimethylpentyl) thiophosphinic acid], *Cyanex-272* [bis(2,4,4-trimethylpentyl) phosphinic acid], *Adogen-383* (secondary amine) dan *Primene JM-T* (primary amine). Untuk kegiatan ini, pelarut organik *Primene JM-T* yang merupakan campuran *Primene JM* dan *Tridecanol* yang dilarutkan dengan kerosin (minyak tanah) dipilih karena larutan organik tersebut bersifat selektif dan lebih mudah melarutkan Th. *Primene JM-T* akan membentuk larutan kompleks dengan Th daripada LTJ dan U dalam larutan sulfat sehingga diperoleh *recovery* Th yang tinggi (Tabel 1) [3, 5, 6, 8–10].

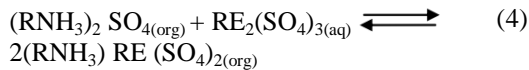
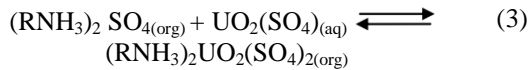
Tabel 1. Hasil *recovery* Th, U, RE oleh berbagai macam ekstraktan jenis *amine primer* [8].

| No | Ekstraktan | Recovery (%) | | |
|----|--------------------|--------------|------|------|
| | | Th | U | LTJ |
| 1 | Primene 81-R | 93,1 | 5,9 | 0,85 |
| 2 | Primene JM-T | 95,4 | 8,8 | 0,32 |
| 3 | Alamine 336 | 3,1 | 82,4 | 0,02 |
| 4 | Aliquat 336 | 1,5 | 11,8 | 0,02 |
| 5 | Primene JM-T/A 336 | 45,5 | 58,8 | 0,04 |

Selama proses pemurnian larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ maka akan terjadi reaksi kimia dengan tahapan sebagai berikut:

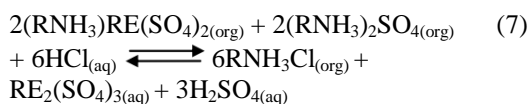
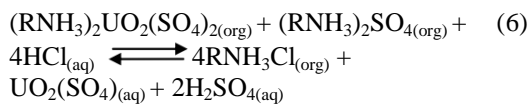
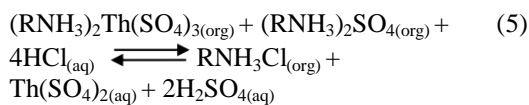
- Pada *Mixer Settler I* (MS-201) terjadi pemurnian selektif dengan cara mengekstraksi Th dengan menggunakan campuran *solvent* (pelarut organik) yaitu *Primene JM-T* 0,15M (RNH_2) dalam 5% volume *Tridecanol* dan 95% volume Kerosin. Reaksi yang terjadi selama proses ekstraksi adalah [8, 11]:



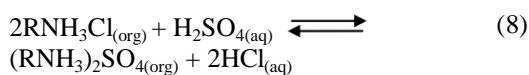


RNH_3 = Primene JM-T

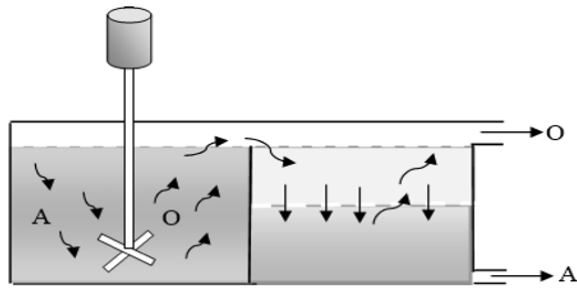
- b) Pada *Mixer Settler II* (MS-202) terjadi proses pengambilan kembali (*stripping*) Th dari organik dengan menggunakan HCl. Reaksi yang terjadi selama proses *stripping* Th adalah [8, 11]:



- c) Pada *Mixer Settler III* (MS-203) terjadi regenerasi pelarut organik. Reaksi yang terjadi selama regenerasi pelarut organik adalah [8, 11]:



Jumlah stage pada alat *Mixer Settler* yang digunakan harus diketahui agar diperoleh kemurnian produk yang optimal. Satu *stage* adalah sebuah *mixer settler* yang terdiri dari satu ruang *mixer* dan satu ruang *settler* (Gambar 2). *Mixer* adalah ruang untuk bercampurnya larutan Th sulfat (A) dengan pelarut organik (O) yang diaduk dalam beberapa menit supaya terjadi reaksi Th. Reaksi tersebut membentuk kompleks dengan organiknya atau terjadi perpindahan unsur Th ke dalam organik. Sedangkan *Settler* adalah ruang untuk mengendap campuran larutan hasil dari *Mixer* sehingga terjadi pemisahan antara *aqueous* (A) dan organiknya (O).



Gambar 2. Penampang samping *mixer settler I* (satu).

TAHAPAN KEGIATAN

Untuk menghitung jumlah *stage* yang diperlukan oleh *Mixer Settler* digunakan metode *McCabe and Thiele* dengan tahapan sebagai berikut [11]:

- Menghitung neraca massa di masing-masing tahapan proses;
- Menentukan basis-basis perhitungan;
- Membuat garis operasi menggunakan persamaan:

$$Y_{op} = mX_{op} - X_r.A/O \quad (9)$$

dan data pada tabel perhitungan neraca massa sehingga persamaan garisnya diketahui. Y_{op} adalah konsentrasi ThO_2 (g/l) dalam fase organik, X_{op} adalah konsentrasi ThO_2 (g/l) dalam fase *Aqueous* (A), m merupakan A/O , X_r adalah konsentrasi ThO_2 dalam fase rafinat, 0,2117g/L;

- Mencari atau membuat tabel kesetimbangan pada masing masing proses, dimana X_e adalah jumlah ThO_2 dalam fase *aqueous* (A) dan Y_e adalah jumlah ThO_2 dalam fase Organik (O);
- Membuat garis kesetimbangan berdasarkan tabel kesetimbangan sehingga diketahui persamaan garisnya;
- Menentukan jumlah umpan ThO_2 dalam umpan (g/l) dengan cara menarik garis vertikal ke arah garis operasi kemudian tarik lagi ke arah horisontal memotong garis kesetimbangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mixer Settler I (MS-201) untuk Ekstraksi Th

Umpan untuk ekstraksi Th adalah larutan monasit yang telah diambil uraniumnya dan dilarutkan dengan H_2SO_4 dalam bentuk $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ hasilnya seperti pada Tabel 2. Pada Tabel 2 terlihat bahwa jumlah Th sebagai $\text{Th}(\text{OH})_4$ dan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ sebesar 5,193 kg; U sebagai UO_2SO_4 sebesar 0,033 kg sedangkan LTJ dalam bentuk $\text{RE}_2(\text{SO}_4)_3$ berjumlah

47,716 kg; H_2O (air) sebesar 676,714 kg dan sisanya adalah campuran logam oksida dan lain sebagainya yang selanjutnya disebut sebagai pengotor. Bahan-bahan selain unsur Th sangat mengganggu dalam proses pemurnian Th terutama U dan LTJ sehingga pelarut organik yang sifatnya selektif terhadap Th harus dipilih [8, 10].

Tabel 2. Umpan masuk ke *mixer settler I* (MS-201) [12].

| No | Komponen | Filtrat (Kg/Hari) | No | Komponen | Filtrat (Kg/Hari) |
|-----------|----------------------------|----------------------|-----------------|------------------------------|----------------------|
| 1 | $\text{RE}(\text{OH})_3$ | 0,011 | 13 | H_2O | 45,856 |
| 2 | $\text{Th}(\text{OH})_4$ | 0,001 | 14 | NaOH | 0,006 |
| 3 | $\text{UO}_2(\text{OH})_2$ | 0,000 | 15 | H_2O_2 | 0,563 |
| 4 | Fe_2O_3 | 0,010 | 16 | H_2SO_4 | 14,122 |
| 5 | SiO_2 | 0,008 | 16 | $\text{RE}_2(\text{SO}_4)_3$ | 47,716 |
| 6 | TiO_2 | 0,010 | 17 | $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ | 5,192 |
| 7 | ZrO_2 | 0,024 | 18 | UO_2SO_4 | 0,033 |
| 8 | Al_2O_3 | 0,004 | 19 | MgSO_4 | 0,008 |
| 9 | Na_2O | 0,298 | 20 | CaSO_4 | 0,004 |
| 10 | SnO_2 | 0,025 | 22 | Na_2SO_4 | 1,801 |
| 11 | S | 0,002 | 23 | H_3PO_4 | 0,672 |
| 12 | Cr_2O_3 | 0,001 | 24 | H_2O | 676,714 |
| Sub total | | 0,393 | Sub total | | 792,688 |
| Total | | | 793,081 Kg/Hari | | |

Dalam perhitungan neraca massa di *Mixer Settler I* (MS-2001) ini maka basis perhitungan yang digunakan sebagai berikut [10]: Umpan berasal dari monasit yang telah diambil uraniumnya, pelarut menggunakan *Primene JM-T* yang terdiri dari campuran 0,15M dalam 5% *tridecanol* dan 95% kerosin. Ratio O/A = 1 dan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ yang masuk ke fase organik = 95,40 % dari umpan. Larutan $\text{UO}_2(\text{SO}_4)$ yang masuk ke fase organik = 8,80% dari umpan dan $\text{RE}_2(\text{SO}_4)_3$ yang masuk ke fase organik = 0,32 % dari umpan pelarut yang masuk ke fase organik = 99,5 % dari solven. Hasil perhitungan neraca massa ekstraksi Th ada pada Tabel 3.

Hasil ekstraksi Th pada Tabel 3 menunjukkan bahwa Th mudah larut dan membentuk kompleks bersama *Primene JM-T* dengan *recovery* 95,5 % sedangkan LTJ sebagai $\text{RE}_2(\text{SO}_4)_3$ yang mampu membentuk kompleks dengan *Primene JM-T* hanya sebesar 0,14%. Logam tanah jarang sangat mudah membentuk kompleks dengan *Dehpa Topo* [10]. Sementara itu, U terikut di dalam pelarut organik sebesar 9% dan karena di dalam umpan jumlahnya kecil maka tidak terlalu berpengaruh.

Tabel 3. Neraca massa di *mixer settler I* (MS-201) [13].

| Komponen | <i>Aqueous</i> Masuk (A) kg/hari | <i>Recycle</i> Pelarut Organik Masuk (O) kg/hari | <i>Make Up</i> Pelarut Organik (O) kg/hari | <i>Loaded</i> Organik Keluar (O) kg/hari | <i>Loaded</i> Rafinat Keluar (A) kg/hari |
|---|---|---|--|--|--|
| RE(OH) ₃ | 0,0113 | | | 0,0000 | 0,0113 |
| Th(OH) ₄ | 0,0005 | | | 0,0000 | 0,0005 |
| H ₂ O | 722,5695 | | | 3,6128 | 718,9567 |
| Pengotor | 17,5595 | | | 0,1911 | 17,3684 |
| RE ₂ (SO ₄) ₃ | 47,7161 | | | 0,1527 | 47,5634 |
| Th(SO ₄) ₂ | 5,1915 | | | 4,9527 | 0,2388 |
| UO ₂ SO ₄ | 0,0326 | | | 0,0029 | 0,0297 |
| Primene JM | | 28,2919 | 0,4352 | 28,5769 | 0,1436 |
| Kerosene | | 511,2844 | 7,6652 | 516,4359 | 2,5952 |
| Tridecanol | | 28,1057 | 0,4214 | 28,3889 | 0,1427 |
| Sub Total | 793.0810 = 0,7497 m ³ | 567,6820 | 8,6011 | 582,1565 | 787,2076 |
| Total | | 1369,3641 | | 1369,3641 | |

Penentuan *stage mixer settler* yang optimal untuk tahapan ekstraksi Th dimulai dengan pembacaan grafik *Isotherm* ekstraksi torium dari monasit yang menghubungkan antara garis kesetimbangan konsentrasi torium dalam fase *aqueous* dengan konsentrasi torium dalam fase organik (Gambar 3) [8], hingga diperoleh data seperti tersaji pada Tabel 4.

Tabel 4. Hubungan antara Xe vs Ye.

| Xe, ThO ₂ dalam Phase <i>Aqueous</i> (A) (g/L) | Ye, ThO ₂ dalam Phase Organik (O) (g/L) |
|---|--|
| 0,001 | 0,5 |
| 0,050 | 2,0 |
| 0,100 | 3,0 |
| 0,300 | 4,0 |
| 0,750 | 5,0 |
| 1,500 | 5,5 |
| 2,500 | 5,7 |
| 3,500 | 6,00 |
| 4,000 | 6,05 |
| 5,000 | 6,06 |

Dari Tabel 4 di atas diperoleh hubungan kesetimbangan konsentrasi torium dalam fase

organik dengan torium dalam fase *aqueous* yang mengikuti persamaan berikut:

$$Y_e = 0,7195 \ln(X_e) + 4,9458 \quad (10)$$

dengan: Y_e = Konsentrasi ThO₂ dalam fase Organik, g/L;
 X_e = Konsentrasi ThO₂ dalam fase *Aqueous*, g/L.

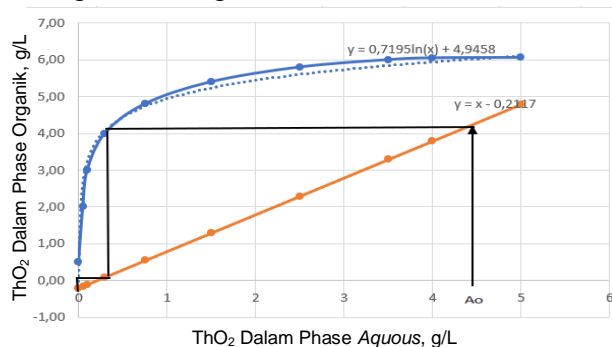
Berdasarkan neraca massa ekstraksi torium (Tabel 3) dibuat garis operasi dengan menggunakan persamaan (9) [14] sehingga persamaan garis operasi ekstraksi menjadi:

$$Y_{op} = X_{op} - 0,2117 \quad (11)$$

Jumlah ThO₂ dalam fase *Aqueous* (A_0) yang dapat dihitung berdasarkan data pada Tabel 3 adalah 4,3117 g/l. Secara grafis seperti yang terlihat pada gambar 3, diperoleh jumlah *stage* teoritis = 2, sehingga jumlah *stage real* = 3. Jumlah *stage mixer settler* untuk mendapatkan hasil optimal pada tahapan ini adalah 3 (tiga) *stage mixer settler*.

Jumlah *stage* yang diperoleh dari perhitungan adalah 3 (tiga) dan cukup untuk memurnikan Th dalam larutan Th sulfat

sehingga Th di fase *aqueous* akan diikat oleh organik membentuk kompleks dan bersifat selektif, sementara unsur lainnya seperti U, LTJ dan logam-logam lainnya tetap berada di dalam fase *aqueous* (A). Hanya beberapa LTJ dan U yang dapat membentuk kompleks dengan fase organik (Tabel 3).



Gambar 3. Penentuan jumlah *stage mixer settler I* (MS-201).

Mixer Settler II (MS-202) untuk Stripping Th

Dalam tahapan ini, *Strippant* yang digunakan adalah larutan HCl 2M. Rasio Organik/*Aqueous* = 1,0 v/v. Larutan Th(SO₄)₂ yang masuk ke fase *Aqueous* = 88% dari umpan, sementara larutan UO₂(SO₄) yang masuk ke fase *aqueous* = 77% dari umpan. RE₂(SO₄)₃ yang masuk ke fase *aqueous* = 44% dari umpan. Pelarut (campuran *Primene JM*, Kerosine dan *Tridecanol*) yang masuk ke fase *aqueous* = 0,5% dari pelarut. Larutan H₂SO₄ dan H₂O yang masuk ke fase *aqueous* = 99,5%. Hasil perhitungan neraca massa *Mixer Settler II* (MS-202) dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Neraca massa *Mixer Settler II* (MS-202) [15].

| Komponen | Organik Masuk (kg/hari) | <i>Stripper</i> Masuk (kg/hari) | Fase <i>Aqueous</i> Keluar (kg/hari) | Fase Organik Keluar (kg/hari) |
|---|-------------------------------|---------------------------------------|--|--|
| H ₂ O | 3,6128 | | 3,5947 | 0,0181 |
| RE ₂ (SO ₄) ₃ | 0,1527 | | 0,0672 | 0,0855 |
| Th(SO ₄) ₂ | 4,9527 | | 4,4079 | 0,5448 |
| UO ₂ SO ₄ | 0,0029 | | 0,0022 | 0,0007 |
| Pengotor | 0,1911 | | 0,0322 | 0,1589 |
| Primene JM | 28,5769 | | 0,1429 | 28,4340 |
| Kerosene | 516,4359 | | 2,5822 | 513,8537 |
| Tridecanol | 28,3889 | | 0,1419 | 28,2469 |
| HCl | | 24,1091 | 0,1205 | 23,9885 |
| H ₂ O | | 305,1476 | 303,6218 | 1,5257 |
| Subtotal | 582,1565 | 329,2566 | 314,7135 | 596,6996 |
| Total | 911,4131 | | 911,4131 | |

Pada Tabel 5, terlihat bahwa jumlah Th menentukan jumlah *Stage Mixer Settler II* dengan metode *McCabe-Thiele*. Pembacaan grafik *Isotherm Stripping* Torium dari fase organik yang menghubungkan antara kesetimbangan konsentrasi torium dalam fase *aqueous* dengan konsentrasi Torium dalam

fase Organik [8], menghasilkan data seperti terlihat pada Tabel 6.

Dari Tabel 6 diperoleh hubungan kesetimbangan antara konsentrasi torium dalam fase organik dengan torium dalam fase *aqueous* yang mengikuti persamaan berikut :

$$Y_e = 4,1748 \ln(X_e) + 29,064 \quad (12)$$

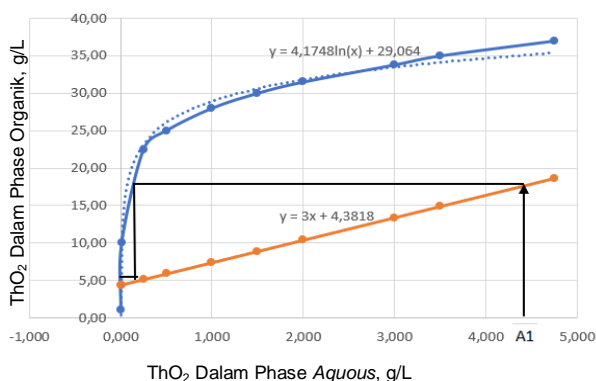
Tabel 6. Hubungan antara Xe vs Ye.

| No | Xe, ThO ₂ dalam Phase Aqueous (A) (g/L) | Ye, ThO ₂ dalam Phase Organik (O) (g/L) |
|----|--|--|
| 1 | 0,001 | 1,0 |
| 2 | 0,01 | 10,0 |
| 3 | 0,25 | 22,5 |
| 4 | 0,50 | 25,0 |
| 5 | 1,00 | 28,0 |
| 6 | 1,50 | 30,0 |
| 7 | 3,00 | 33,0 |
| 8 | 3,50 | 35,0 |
| 9 | 4,75 | 37,0 |

Berdasarkan Tabel 5, maka diperoleh umpan masuk pada konsentrasi torium oksida dalam fase *aqueous* 0 g/L dan konsentrasi torium oksida dalam fase organik 4,3881 g/L (A₁). Perbandingan volume antara fase *aqueous* dan fase organik adalah 1 : 1. Konsentrasi torium oksida dalam fase organik adalah sebesar 0,4243 g/L dan konsentrasi torium oksida dalam fase *aqueous* sebesar 3,9414 g/L. Kemudian dari data tersebut, dibuat garis operasi sehingga diperoleh persamaan berikut [13]:

$$Y_{op} = 3X_{op} + 4,3818 \quad (13)$$

Dari Gambar 4, secara grafis diperoleh jumlah *stage* teoritis = 2, sehingga jumlah *stage real* = 3. Jumlah *stage mixer settler* untuk mendapatkan hasil optimal pada unit *stripping* ini adalah 3 (tiga) *stage mixer settler*.



Gambar 4. Penentuan jumlah *stage mixer settler II* (MS-202).

Jumlah *stage* ini tidak terlalu banyak untuk mengambil kembali Th dari fase organik (O) ke fase *aqueous* (A) dan produk larutan Th sulfat yang sudah relatif murni organik dilanjutkan ke sistem pengendapan Th. Pada pengendapan Th nanti akan terjadi metatesis dan diharapkan kemurnian Th dapat bertambah tinggi lagi.

Mixer Settler III (MS-203) untuk Regenerasi Pelarut Organik

Umpan berasal dari larutan fase organik yang keluar dari alat *stripping* (MS-202). Regenerasi yang digunakan adalah larutan H₂SO₄ 1%. Rasio Organik/ *Aqueous* = 2,0 v/v. *Primene JM* yang masuk ke fase organik = 99,5% dari umpan. Kerosin yang masuk ke fase organik = 99,5 % dari umpan. *Tridecanol* yang masuk ke fase organik = 99,5% dari umpan. Semua H₂O masuk ke fase *aqueous*. Larutan H₂SO₄ yang masuk ke fase organik sesuai dengan kesetimbangan reaksi. Hasil perhitungan neraca massa regenerasi ekstraktan (MS-203) terlihat pada Tabel 7.

Perhitungan *stage mixer* tidak dapat dilakukan karena tidak adanya data kesetimbangan. Oleh karena itu, jumlah *stage* diambil satu dan *stage real* nya = 2.

Recovery dan Kemurnian Larutan Th(SO₄)₂

Hasil perhitungan *recovery* dan kemurnian produk ada di Tabel 8 dengan basis perhitungan bahwa proses beroperasi sehari hanya 1 kali. Ekstraksi Th dari larutan Th(SO₄)₂ dengan menggunakan *mixer settler I* sebanyak 3 *stage* diperoleh *recovery* Th sebesar 95,40% dengan kemurnian produk 98,97%. Terjadi peningkatan kemurnian Th dari 85,25% menjadi 98,97% dan dapat ditingkatkan lagi kemurniannya dengan adanya proses *stripping* Th (pengambilan kembali Th dari fase organik ke fase *aqueous* menggunakan HCl).

Tabel 7. Neraca massa *mixer settler III* (MS-203) [11]

| Komponen | Organik Masuk (kg/hari) | Reagen Masuk (kg/hari) | Organik Keluar (kg/hari) | Aqueous Keluar (kg/hari) |
|---|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| H ₂ O | 1,5438 | | | 1,5438 |
| RE ₂ (SO ₄) ₃ | 0,0855 | | | 0,0855 |
| Th(SO ₄) ₂ | 0,5448 | | | 0,5448 |
| UO ₂ SO ₄ | 0,0007 | | | 0,0007 |
| Impuritas | 0,1589 | | | 0,1589 |
| Primene JM | 28,4340 | | 28,2919 | 0,1422 |
| Tridecanol | 513,8537 | | 511,2844 | 2,5693 |
| Kerosin | 28,2469 | | 28,1057 | 0,1412 |
| HCl | 23,9885 | | | 23,9885 |
| H ₂ SO ₄ | | 428,7379 | | 428,7379 |
| H ₂ O | | 1952,9938 | | 1952,9938 |
| Subtotal | 596,6996 | 2381,7318 | 567,6820 | 2410,7494 |
| Total | 2978,4314 | | 2978,4314 | |

Tabel 8. Perhitungan *recovery* dan kemurnian produk larutan Th(SO₄)₂.

| No | Komponen | Jumlah Umpan (Kg) | Persen dalam umpan (%) | Jumlah Produk (Kg atau m ³) | Recovery (%) | Kemurnian Produk Th(SO ₄) ₂ (%) |
|----|---|---|---------------------------------|--|-----------------|---|
| 1. | Pada <i>Mixer Settler I</i> (MS-201): | 793,0810 (kemurnian awal larutan Th(SO ₄) ₂ = 85,25 % | | 314,7135 | | 98,97 |
| | Th(SO ₄) ₂ | 5,1915 | | 4,9527 | 95,40 | |
| | RE ₂ (SO ₄) ₃ | 47,7161 | | 0,1527 | | |
| | UO ₂ SO ₄ | 0,0326 | | 0,0029 | | |
| | Impuritas | 17,5595 | 2,1752 | 0,1911 | 12,60 | |
| | RE(OH) ₃ | 0,0113 | | - | | |
| | Th(OH) ₄ | 0,0005 | | - | | |
| | Pelarut Organik | 576,2831 | - | 2,8795 | 0,50 | |
| 2. | Pada <i>Mixer Settler II</i> (MS-202): | 314,7135 kg | | | | |
| | Th(SO ₄) ₂ | 4,9527 | - | 4,4079 | 89,00 | 99,02 |
| | RE ₂ (SO ₄) ₃ | 0,1527 | | 0,0672 | | |
| | UO ₂ SO ₄ | 0,0029 | | 0,0022 | | |
| | RE ₂ O ₃ di dalam RE ₂ (SO ₄) ₃ | 0,0877 | 0,0123 | 0,043 | 43,83 | |
| | UO ₂ di UO ₂ SO ₄ | 0,0019 | 0,0006 | 0,0014 | 74,40 | |
| | Impuritas | 0,1911 | 0,061 | 0,1527 | 79,90 | |
| | Pelarut organik | 573,4017 | - | 2,8068 | 0,49 | |
| 3. | Recovery total Th di dalam larutan Th(SO ₄) ₂ = 95,40 X 89 = 84,90 % | | | | | |

Pada *mixer settler* II proses *stripping* Th dengan menggunakan 3 *stage* dari hasil perhitungan diperoleh *recovery* Th di dalam larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ sebesar 89% dengan kemurnian produk $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ sebesar 99,02%. Hasil akhir pemurnian $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ dengan menggunakan *mixer settler* melalui proses ekstraksi dan *stripping* diperoleh *recovery* total sebesar 84,90% dengan kemurnian produk 99,02%. Apabila Th akan digunakan sebagai bahan bakar, maka hasil larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ akan diproses lebih lanjut menjadi ThO_2 , melalui proses pengendapan dan pengeringan sehingga akan diperoleh ThO_2 dengan kemurnian yang lebih tinggi.

KESIMPULAN

Tahapan proses pemurnian Th dari larutan monasit Bangka dilakukan melalui tahapan ekstraksi dengan pelarut organik *Primene JM-T*, *stripping* menggunakan larutan HCL 2M dan regenerasi pelarut organik menggunakan 1% H_2SO_4 . Alat yang digunakan untuk pemurnian adalah *mixer settler*. Perhitungan jumlah *stage mixer settler* dengan menggunakan metode *McCabe and Thiele* menunjukkan bahwa untuk proses ekstraksi Th diperlukan 3 (tiga) *stage*, *stripping* Th diperlukan 3 (tiga) *stage* dan untuk regenerasi pelarut organik 2 (dua) *stage*. *Recovery* total dari Th dalam larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ sebesar 84,90% dengan kemurnian produk akhir sebesar 99,02%. Terjadi peningkatan kemurnian produk dalam umpan larutan $\text{Th}(\text{SO}_4)_2$ dari 85,25% menjadi 99,02%

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Suwargi, B. Pardiarto, and T. Ishlah, "Potensi Logam Tanah Jarang di Indonesia," *Bul. Sumber Daya Geol.*, vol. 5, pp. 131–140, 2010.
- [2] Sumarni, R. Prassanti, K. Trinopiawan, Sumiarti, and H. L. Nuri, "Penentuan Kondisi Pelarutan Residu dari Hasil Pelarutan Parsial Monasit Bangka," *Eksplorium*, vol. 32, no. 2, pp. 115–124, 2011.
- [3] M. Anggraini, Sumarni, Sumiarti, Rusyidi, and Sugeng, "Pengendapan Unsur Tanah Jarang Hasil Digesti Monasit Bangka Menggunakan Asam Sulfat," *Eksplorium*, vol. 33, no. 2, pp. 121–128, 2012.
- [4] K. Trinopiawan and Sumiarti, "Pemisahan Thorium dari Uranium pada Monasit dengan Metode Pengendapan," *Eksplorium*, vol. 33, no. 1, pp. 55–62, 2012.
- [5] R. Prassanti, "Digesti Monasit Bangka dengan Asam Sulfat," *Eksplorium*, vol. 33, no. 1, pp. 41–54, 2012.
- [6] H. L. Nuri, Prayitno, A. Jami, and M. Pancoko, "Kebutuhan Desain Awal pada Pilot Plant Pengolahan Monasit Menjadi Thorium Oksida (ThO_2)," *Eksplorium*, vol. 35, no. 2, pp. 131–141, 2014.
- [7] R. Ferliana, B. Wasito, and R. Prassati, "Ekstraksi dan Stripping Torium dari Rafinat Hasil Ekstraksi Uranium Monasit Bangka," *J. Forum Nukl.*, vol. 10, no. 1, pp. 26–37, 2016.
- [8] J. C. B. S. Amaral and C. A. Morais, "Thorium and Uranium Extraction from Rare Earth Elements in Monazite Sulfuric Acid Liquor Through Solvent Extraction," *Miner. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 498–503, May 2010.
- [9] M. E. Nasab, "Solvent Extraction Separation of Uranium (VI) and Thorium (IV) with Neutral Organophosphorus and Amine Ligands," *Fuel*, vol. 116, pp. 595–600, Jan. 2014.
- [10] F. Xie, T. A. Zhang, D. Dreisinger, and F. Doyle, "A Critical Review on Solvent Extraction of Rare Earths from Aqueous Solutions," *Miner. Eng.*, vol. 56, pp. 10–28, Feb. 2014.
- [11] G. Towler and R. Sinnott, *Chemical Engineering Design*, 1st ed. New York, 2008.
- [12] M. Pancoko, "Perhitungan Neraca Massa Tailing Monasit," Tangerang Selatan, 2015.
- [13] Prayitno, "Perhitungan Teknis Peralatan Utama Proses 2," Tangerang Selatan, 2015.
- [14] D. W. Green and R. H. Perry, *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, 8th ed. New York, Singapore: McGraw-Hill, 2008.
- [15] G. E. Saputro, "Revisi Perhitungan Neraca Massa Tailing Monasit," Tangerang Selatan, 2017.